

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ СВЕРХЗВУКОВОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Нураков С.¹, д.т.н., профессор

Белоцерковский М.А.², д.т.н., профессор

Айтлесов К.К.¹, магистр, старший преподаватель

¹ *Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, г.Астана,*

² *Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г.Минск*

Аннотация

Ввиду гиперзвуковых скоростей полета распыленных частиц и высоких температур при сверхзвуковых методах напыления стояла задача измерения параметров в распыляющей струе. Предложены усовершенствованные конструкции устройств для измерения статического давления в распыляющей струе и определения скорости и температуры частиц в полете. Даны описание конструкций и методика их использования. Представлены формулы для получения значений необходимых параметров по результатам измерений, приведены схемы и методы измерения с помощью новых конструкций устройств.

Ключевые слова: металлизация, измерение, скорость, температура, давление, насадка, устройство, число Маха, теплота.

Введение

Одними из основных параметров напыления покрытий методами гиперзвуковой газопламенной [1] и высокоскоростной плазменной металлизации [2], влияющих на физико-механические свойства покрытий, являются скорость полёта

частиц металла и их температура. Для определения вышеуказанных параметров были разработаны устройства, предназначенные для измерения статического давления в струе распыляемого газа, среднемассовой температуры частиц и скорости полёта частиц.

Материалы и методика исследований

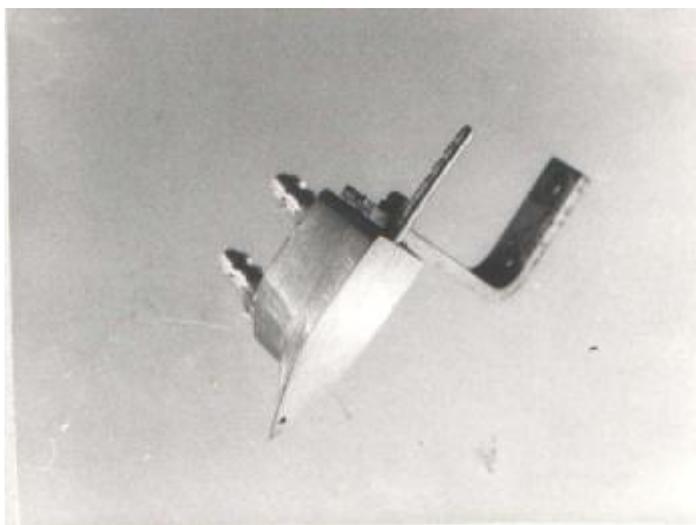
Измерение статического давления $P_{ст}$ в струе производили с помощью водоохлаждаемой медной насадки по типу шайбы Сера [3], которая устанавливалась в потоке так, чтобы плоскость с выполненным в ней приемным отверстием

была параллельна направлению скорости (рисунок 1). В зависимости от величины измеряемого давления приемный канал насадки соединялся с манометром модели 112, либо с вакуумметром ВО-1*0,15 ГОСТ 6521-72.

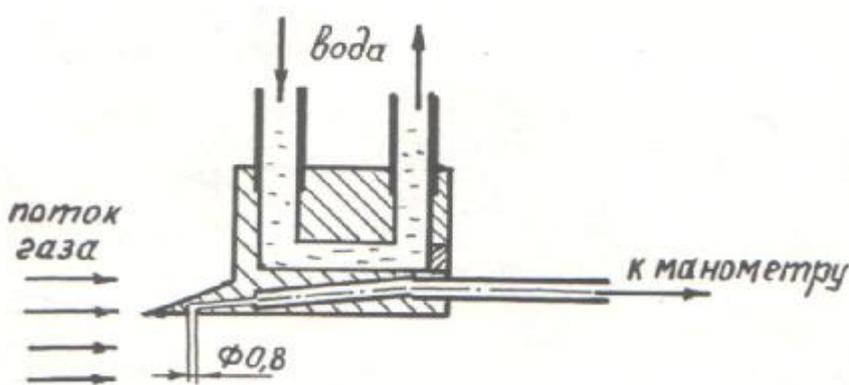
По измеренному полному и статическому давлениям определяли число Маха в набегающем потоке по формуле [4]:

$$\frac{p^*}{p_{ст}} = \frac{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}}{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{k+1}{k-1}}} \frac{M^{\frac{2k}{k-1}}}{\left(\frac{k+1}{2}\right)^{\frac{1}{k-1}}} \quad (1)$$

где M - число Маха; k - показатель адиабаты (определялся из [3] в зависимости от T^*).



а)



б)

Рисунок 1 – Водоохлаждаемая насадка (а) и схема измерения (б) статического давления в распыляющей струе

Статическая температура T_m в струе определялась по формуле [1]:

$$T_m = T * \frac{\infty}{\dot{e}} \left(1 + \frac{k-1}{2} M^2 \right) \frac{\ddot{\circ}}{\emptyset}^{-1} \quad (2)$$

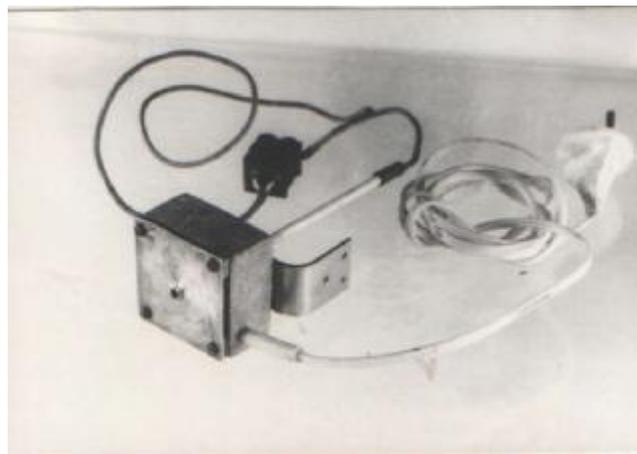
а скорость набегающего потока U_a :

$$U_a = M \sqrt{kgRT_m} \quad (3)$$

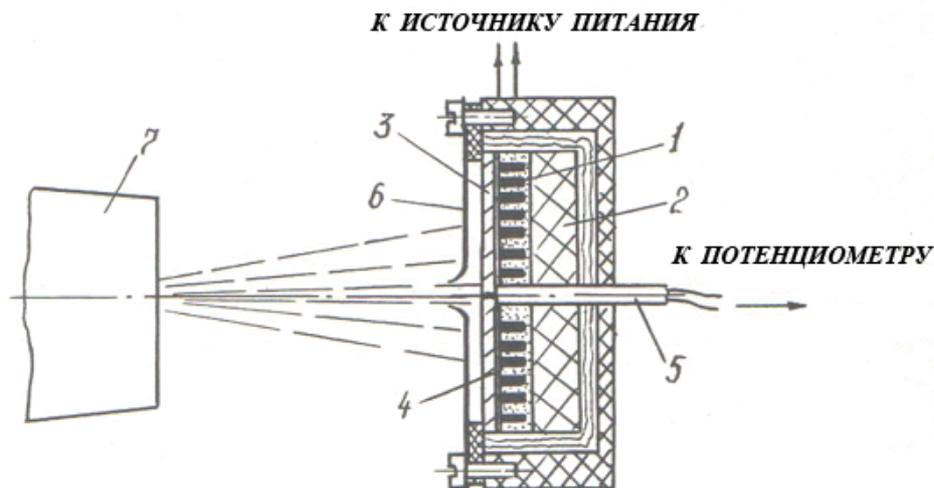
где g - ускорение свободного падения; R - газовая постоянная (для воздуха $R= 29,27$ м/град. [5].

Оценка величины среднемаcсовой температуры частиц при напылении производилась по методике [6]. Устройство (рисунок 2) состояло из нагревательной спирали 1 мощностью 150 Вт, прикреп-

ленной к керамической пластине 2 (10x35x35 мм) огнеупорным цементом и отделенной от медной пластины 3 слоем слюды 4 толщиной 1 мм.



а)



б)

Рисунок 2 – Устройство для измерения среднемаcсовой температуры частиц (а) и его схема (б)

В медную пластину нечаянно валилось хромель-алюмелевая термопара 5. Для уменьшения тепловых потерь в окружающее пространство все поверхности устройства, за исключением поверхности медной пластины, были закрыты асбестом. Для проведения локальных измерений среднемаховой температуры частиц напыляемого материала в различных точках конуса распыла перед медной пластиной 3 на расстоянии 2 мм устанавливался медный экран 6 с отверстием диаметром 4 мм для прохода частиц.

Устройство помещалось с помощью координатного механизма перед распылительной головкой металлизатора 7 напыляемые частицы, проходя через отверстие экрана 6, оседали на медной пластинке, нагревая ее. Через некоторое время с начала напыления температура пластинки устанавливалась постоянной. Затем

плавящиеся проволочные электроды заменяли неплавящимися угольными, имеющими свой механизм подачи, и нагревали медную пластинку только распыляющей струей и дугой, горячей между угольными электродами (мощность дуги устанавливалась такой же, как и при плавлении проволочных электродов). При этом происходило уменьшение поступления теплоты к медной пластине. Это уменьшение теплового потока компенсировали подключением нагревательной спирали, что позволяло замерить количество теплоты, отдаваемое пластине частицами при металлизации.

После напыления покрытие, осевшее на медную пластину, отделялось и взвешивалось на весах. Количество теплоты, подведенное частицами, рассчитывали по формуле [4]:

$$DH = \frac{W > 0,239M_m t}{m_n} \quad (4)$$

где W - мощность на нагревательной спирали; M_m - атомная масса металла покрытия; m_n - масса покрытия; t - время напыления.

Среднемаховая температура частиц T_q определялась из выражения:

$$DH - DH_s = \int_{T_y}^{T_q} c dT \quad (5)$$

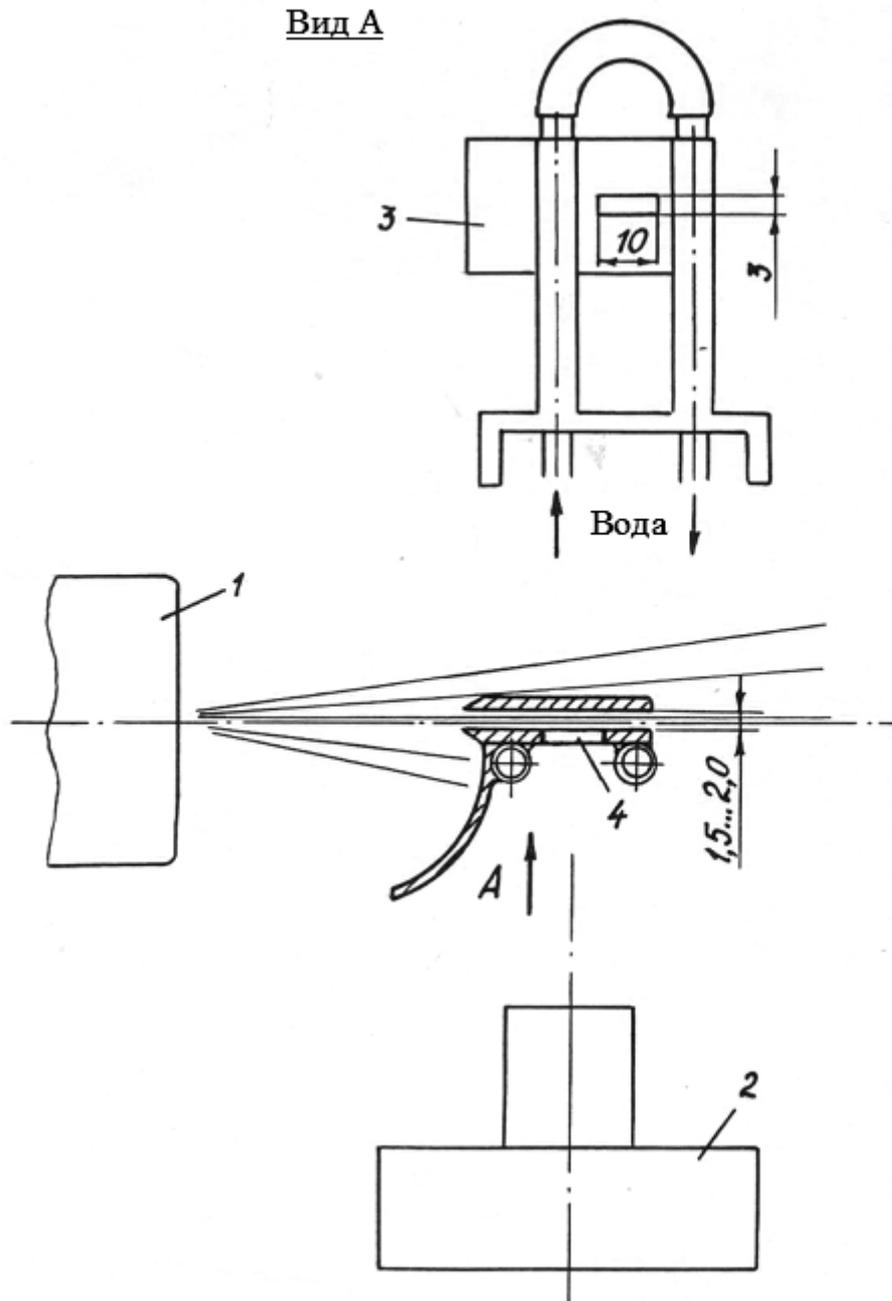
где T_y - температура теплового равновесия; c и ΔH_s - удельная теплоемкость и скрытая теплота плавления металла проволочных электродов, соответственно.

Для оперативного и удобного определения скорости полета частиц напыляемого материала

использовали измеритель скорости светящихся объектов типа ИССО-1 [7]. Изменяя скорость вращения

зеркала в приборе, добивались параллельности треков светящихся частиц и контрольных линий, видимых в окуляре прибора, после чего отсчитывали величину скорости по стрелочному индикатору. Для измерения скорости частиц в различных областях конуса

распыла использовали медный водоохлаждаемый экран, через продольную щель которого фиксировали с помощью ИССО-1 скорость полета частиц (рисунок 3). Данный метод позволял оперативно определять максимальную $v_{ч\ max}$ и минимальную $v_{ч\ min}$ скорости частиц.



1 - распылительная головка; 2 - ИССО-1; 3 - экран; 4 - щель
Рисунок 3 – Схема измерения скорости полета частиц

Для относительной доли частиц, обладающих той или иной

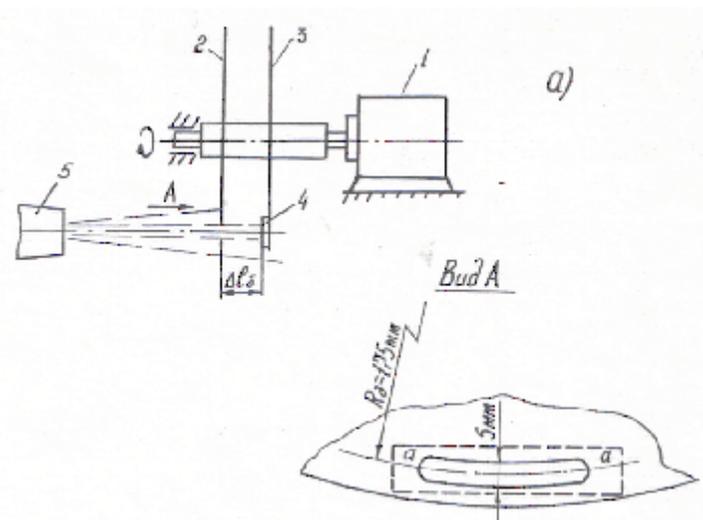
определенной скоростью, заключенной между $v_{ч\ max}$ и $v_{ч\ min}$ использовали широко применяемую механическую

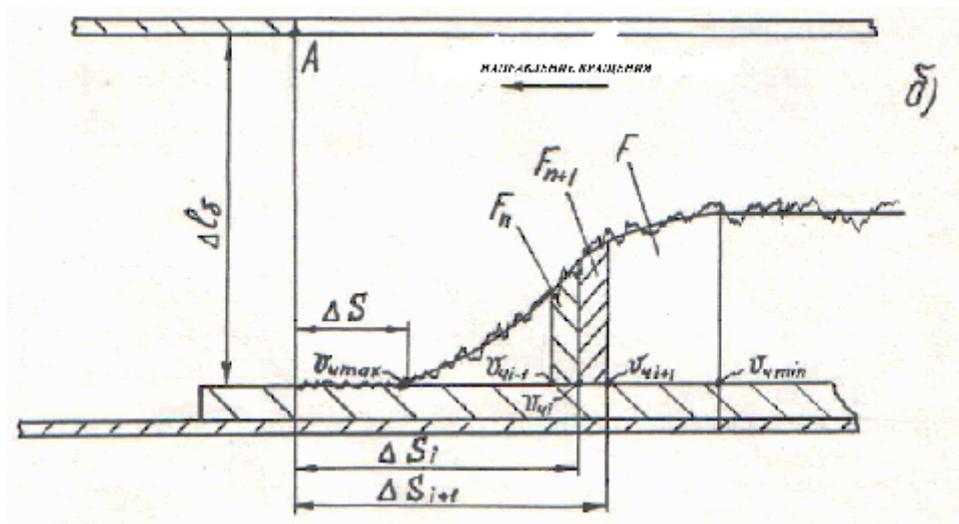
систему вращения [8], содержащую два диска диаметром $D_0 = 350$ мм, установленные соосно на валу электродвигателя ($n_{max} = 14000$ об/мин). В ближайшем к распылительной головке диске была выполнена дугообразная прорезь для прохода напыляемых частиц, а напротив этой прорези на более удаленном диске крепилась шлифованная стальная пластинка (50 x 15 x 2 мм), на подготовленную поверхность которой и оседали частицы, проходящие через прорезь в первом диске (рисунок 4). После

окончания напыления пластинки вместе со сформированным на ней покрытием толщиной 50...80 мкм снималась с диска и с помощью профилографа-профилометра снималась профилограмма вдоль линии а-а (рисунок 4,а), которая отражала интегральное распределение частиц по скоростям. При этом доля частиц $\Delta G/G$, обладающих скоростью, лежащей в интервале между v_i и v_{i+1} (рисунок 4,б), учитывая постоянную ширину полосы напыления, определялась из выражения:

$$\frac{\Delta G}{G} = \frac{F_{n+1} - F_n}{F} \quad (6)$$

где F - площадь левой части металлизационной "фигуры", расположенная между $v_{чmax}$ и $v_{чmin}$ (минимальная скорость частиц $v_{чmin}$ соответствует началу горизонтального участка профилограммы); F_n и F_{n+r} площади металлизационных "фигур", лежащих в интервалах $v_{i-1} - v_i$ и $v_i - v_{i+1}$ соответственно.





1 - электродвигатель; 2 - диск с прорезью; 3 - сплошной диск;
4 - пластинка; 5 - распылительная головка

Рисунок 4 – Схема нанесения покрытия на пластинку (а) и схема для расчета скорости полета частиц (б)

Площади металлизационных "фигур" определялись планиметрически. Скорость частиц рассчитывалась по формуле [8](рисунок 4,б):

$$v_i = \frac{2\rho R_g w D S_i}{D l_\delta} \quad (7)$$

где R_g - расстояние от оси диска до центра дугообразной прорези; w - угловая скорость вращения диска; ΔS_i - смещение соответствующей точки пятна напыления относительно реперной точки А; Δl_δ - расстояние между дисками.

Результаты и заключение

Обоснованы конструктивные решения устройств для измерения статического давления,среднемассовой температуры и скорости полета частиц в струе распыляемого газа

при сверхзвуковых методах металлизации. Приведены расчетные схемы и зависимости для определения измеряемых параметров.

Список литературы

1. Нураков С., Белоцерковский М.А. «Интенсификация процессов газоплазменного напыления высокоскоростными потоками», Вестник ЕНУ им. Л.Н. Гумилева.-2014.-№4 (101) – С 24-30.

2.Нураков С., Белоцерковский М.А. «Совершенствование плазменного напыления для нанесения покрытий на поверхности деталей» // Инновационные решения проблемы экономики Беларуси и Казахстана: Сборник материалов научно-техническая конференция. – Минск, 2016. – С 88-89

3. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. — 360 с.
4. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. - М.: Наука, 1979. - 824 с.
5. Хасуи А., Моригаки О. Наплавка и напыление. Москва.: Машиностроение, 1985. - 288 с.
6. Шипай А.К., Макаренко Г.М., Ивашко В.С., Булгакова Л.Ф. Методика исследований некоторых параметров плазменных установок.- Мн.: ИНДМАШ АН БССР, 1991. - 46 с.
7. Астахов Е.А. Научно-технологические основы управления свойствами детонационных покрытий. / Автореф. дис. ... докт. техн. наук. - Киев. – 2005. – 35 с.
8. Ульяницкий, В.Ю. Опыт исследования и применения технологии нанесения детонационных покрытий / В.Ю.Ульяницкий, М.В. Ненашев, В.В.Калашников и др. // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. - т.12. - №1(2). – 2010. – С 569-575.

Түйін

Дыбыстан жоғары жылдамдықты және жоғары температуралы тозанданған газ ағысының статикалық қысымын өлшеу үшін қажетті Мах санын есептеуге мүмкіндік беретін арнайы құрылым жобаланды.

Бөлшектердің бұрқу кезіндегі орташа массалы температураның мөлшерін анықтауға жасалған бұл құрылғының экранындағы тесік арқылы өткен бөлшектер арнайы пластинаны қыздырады. Еріген және ерімеген электродтардағы температура айырмашылықтарды өлшеу арқылы пластинаға берілген бөлшектердің жылу санын анықтауға болады. Бөлшектердің жылдамдығын өлшеу үшін өлшеу құрылғысына қосымша салқындататын мыс экран орналастыру арқылы бөлшектердің ең үлкен және ең кіші жылдамдығын анықтауға мүмкіндік туады.

Summary

To measure the static pressure in a supersonic and high-temperature jet of the atomizing gas, a cooled nozzle was designed with a special design that made it feasible to calculate the Mach number in the flow, which is essential in calculations.

The average mass temperature of the particles during sputtering made it possible to determine the device created for this purpose, in which the particles, passing through the hole in the screen, heated a special plate. By measuring the temperature difference for melting and non-consumable electrodes, it is possible to determine the amount of heat that is given to the plate by the particles. To measure the velocity of particles to the measuring instrument, a copper cooled screen was additionally installed, which makes it possible to determine the largest and smallest particle velocities.